

УДК 629.423 : 621

Т.М.МІЩЕНКО, канд. техн. наук

Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту
ім. академіка В. Лазаряна

ВПЛИВ ПЕРЕХІДНИХ ЕЛЕКТРОМАГНІТНИХ ПРОЦЕСІВ НА СТУПІНЬ ПОСЛАБЛЕННЯ ЗБУДЖЕННЯ ТЯГОВИХ ДВИГУНІВ ЕЛЕКТРОРУХОМОГО СКЛАДУ

На прикладі електровоза ДЕ 1 представлено результати досліджень (методом математичного моделювання) зміни коефіцієнта послаблення збудження β тягових двигунів в перехідному режимі відриву-доторкання струмоприймача електрорухомого складу. Встановлено, що під час перехідного процесу фактичні чисельні значення коефіцієнта β суттєво коливаються і відрізняються від значень, які приведені в описах та інструкціях з експлуатації електровоза.

На примере електровоза ДЕ 1 представлені результати исследований (методом математического моделирования) изменения коэффициента ослабления возбуждения β тяговых двигателей в переходном режиме отрыва-восстановления токоприемника электроподвижного состава. Установлено, что во время переходного процесса фактические численные значения коэффициента β существенно колеблются и отличаются от значений, которые приведены в описаниях и инструкциях по эксплуатации электровоза.

In-process, on the example of electric locomotive DE 1, the results of researches (by the method of mathematical design) of change of coefficient of weakening of excitation β of hauling engines are presented in transient behavior of tearing-renewal away of pantograph of electro-mobile composition. It is set that during a transient actual numeral values of coefficient β substantially hesitate and differ from values which are resulted in descriptions and instructions on exploitation of electric locomotive.

Ключові слова: коефіцієнт послаблення збудження, електрорухомий склад, відрив-доторкання пантографа.

Електрорухомий склад залізничного та міського транспорту працює в неперервних перехідних експлуатаційних чи аварійних режимах. Електромагнітні процеси в таких режимах з урахуванням послаблення збудження (ПЗ) тягових двигунів досліджують і аналізують при умові різних, але незмінних (ПЗ-1, ПЗ-2, ПЗ-3, ПЗ-4), значеннях коефіцієнта послаблення збудження β , які визначають під час тягово-електричних випробувань електрорухомого складу. Наприклад, середні фактичні значення цього коефіцієнта для електровозів ДЕ 1, у порівнянні з розрахунковими значеннями, наведено в таблиці згідно з [1].

Розрахункові і фактичні значення коефіцієнта β в усталених режимах роботи

Режим послаблення збудження	Коефіцієнт послаблення збудження, β	
	розрахунковий	фактичний
ПЗ-1	0,78	0,82
ПЗ-2	0,65	0,68
ПЗ-3	0,57	0,59
ПЗ-4	0,43	0,4

В таблиці наведено значення коефіцієнта β при роботі електро-
воза в усталених режимах і він визначався за відомою формулою

$$\beta = \frac{I_3}{I_я} = \frac{I_3}{I_3 + I_{ш}} = \frac{1}{1 + \frac{I_{ш}}{I_3}}. \quad (1)$$

Однак в перехідних режимах струми якоря $i_я$, обмотки збуджен-
ня i_3 і шунтувальної вітки $i_{ш}$ не є постійними величинами, а будуть
змінними і тому коефіцієнт β також буде функцією часу, що й треба
враховувати при розрахунку електромагнітних процесів.

Одним із найбільш розповсюджених аварійних режимів при екс-
плуатації електрорухомого складу є режим різкої зміни напруги U на
його струмоприймачі [2]. Цей режим виникає: при вимиканні інших
одиниць електрорухомого складу, які працюють на лінії; комутаціях у
системі електропостачання; коротких замиканнях у контактній мережі;
відриві – доторканні струмоприймача; ожеледі тощо. При цьому до
режиму різкої зміни напруги живлення слід також додати режим пов-
ного зняття напруги, тобто його зменшення до нуля на деякий час $t_{зи}$ з
наступним відновленням. У подальшому, у цій роботі, такий режим
досліджується на паралельному з'єднанні тягових двигунів електро-
воза ДЕ 1. При цьому в першому режимі, тобто в режимі повного зняття
напруги живлення U з наступним його відновленням, слід розрізнити
три стадії (Рис.): а) 1-у стадію – зняття U при наявності електричної
дуги між струмоприймачем та контактним проводом (на початку знят-
тя); б) 2-у стадію – повне вимикання струмоприймача електровоза від
контактної мережі, тобто, з моменту досягнення струмом електровоза
нуля; в) 3-ю стадію – відновлення напруги живлення, тобто з моменту
доторкання струмоприймача до контактної дроти. Отже, у цьому ре-
жимі, виходячи із класичної теорії електричних кіл, потрібно дослі-
джувати перехідні процеси при двократній комутації. Оскільки в до-
сліджуваному режимі i_3 та $i_я$ є функцією часу, то і β треба визнача-
ти за виразом

$$\beta(t) = \frac{i_3(t)}{i_я(t)} = \frac{i_3(t)}{i_3(t) + i_{ш}(t)}, \quad (1)$$

де $i_я(t)$, $i_3(t)$, $i_{ш}(t)$ – перехідні величини струмів відповідно обмотки
збудження, якоря і шунтувальної вітки (рис.1). Ці величини визначали
методом математичного моделювання електромагнітних процесів в

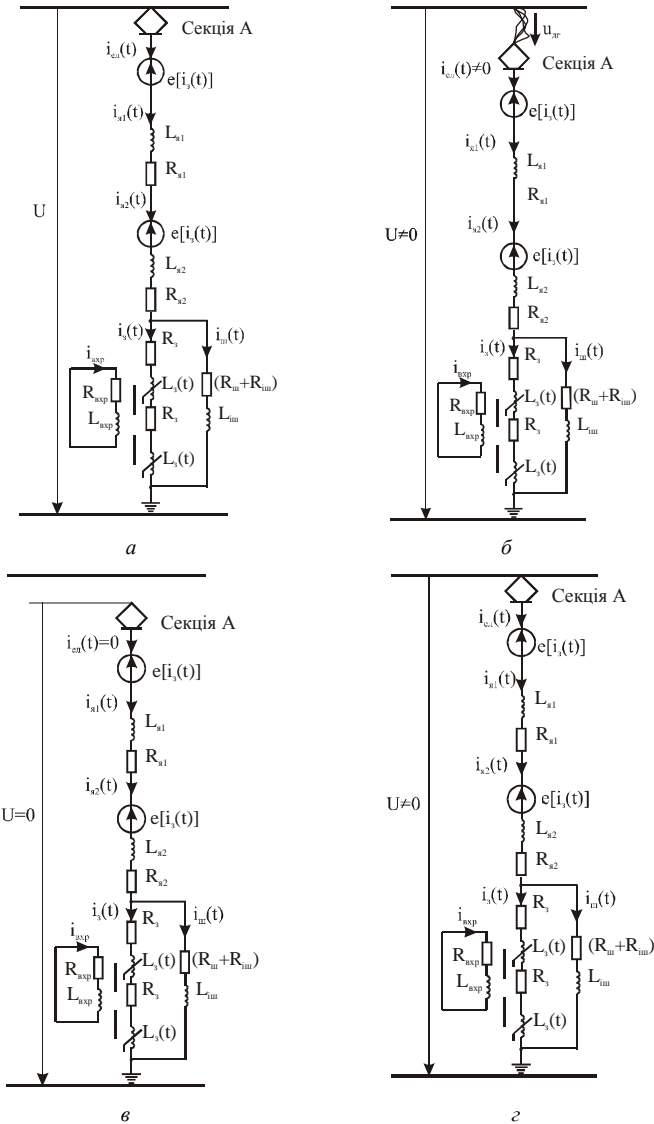


Рис.1 – Електрична схема заміщення однієї секції електровоза ДЕ 1:

а – в тяговому режимі при паралельному з'єднанні ТЕД; *б* – стадія зняття напруги при наявності електричної дуги (1-а стадія); *в* – стадія повного вимкнення струмоприймача від контактної мережі (2-а стадія); *г* – стадія відновлення напруги живлення (3-я стадія).

силових колах електровоза ДЕ 1; їх функціональні залежності наведено в роботі [3].

На рис.2 наведено залежності коефіцієнта послаблення збудження $\beta(t)$, що побудовано за часовими залежностями перехідних $i_a(t)$ та $i_z(t)$ на послабленому полі за різними значеннями індуктивності шунтувальної вітки $L_{ш}$ (рис.1) при відновленні (увімкненні) напруги до $U_{ном} = 3000$ В після тривалого ($t_{зн} = 1,4$ с) її зняття. З рис.2 випливає, що залежність $\beta(t)$ носить екстремальний характер: при даному $L_{ш}$, незалежно від ПЗ, крива $\beta(t)$ при $L_{ш} = 4$ мГн має мінімальне значення, рівне 0,1 через 25-30 мс після відновлення напруги.

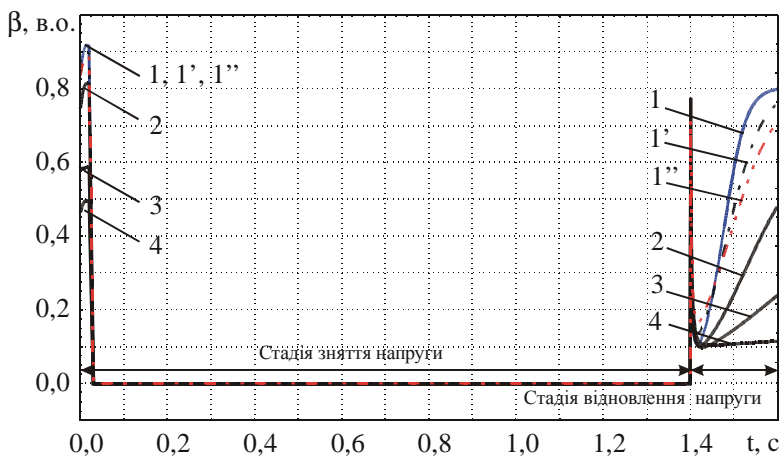


Рис.2 – Залежності коефіцієнта послаблення збудження β від часу протікання перехідного процесу в режимі зняття - відновлення напруги $U_{ном} = 3000$ В, при $I_{поч} = I_{ном}$, різних значеннях індуктивності індуктивного шунта $L_{ш}$ та різних ступенях послаблення збудження (ПЗ): крива 1 – ПЗ-1, $L_{ш} = 4$ мГн; 1' – ПЗ-1, $L_{ш} = 6$ мГн; 1'' – ПЗ-1, $L_{ш} = 8$ мГн; 2 – ПЗ-2, $L_{ш} = 4$ мГн; 3 – ПЗ-3, $L_{ш} = 4$ мГн; 4 – ПЗ-4, $L_{ш} = 4$ мГн.

При цьому, зі збільшенням $L_{ш}$ мінімальні значення величини β зростає і досягає, наприклад, значення 0,17 при $L_{ш} = 8$ мГн. Далі з протіканням перехідного процесу (зі збільшенням часу t) величина β

збільшується і досягає через певний проміжок часу усталеного розрахункового значення. Зі зменшенням інтервалу часу $t_{\text{зн}}$ відсутності напруги значення коефіцієнта β зростає (рис.3).

Зміна в часі перехідного процесу коефіцієнта β і розглянутий характер такої зміни (рис.3) пояснюється не лише різними значеннями власне струмів $i_{\text{ш}}(t)$ та $i_3(t)$, але й різними швидкостями зростання цих струмів внаслідок різних сталих часу вітки обмотки збудження та шунтувальної вітки. Останнє можна також пояснити виходячи із співвідношення

$$\beta(t) = \frac{L_{\text{ш}}}{L_3 [i_3(t)] + L_{\text{ш}}} = \frac{1}{1 + \frac{L_3 [i_3(t)]}{L_{\text{ш}}}}, \quad (2)$$

яке випливає з виразу (1) і справедливе для нестационарних процесів.

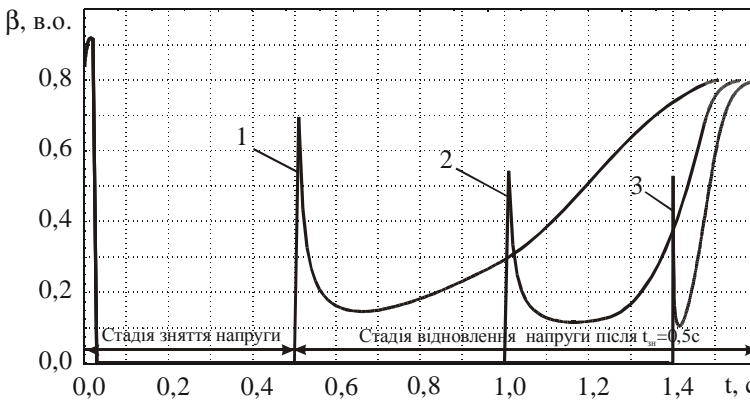


Рис.3 – Залежності коефіцієнта послаблення збудження β від часу протікання перехідного процесу у режимі “зняття - відновлення” напруги $U_{\text{ном}} = 3000$ В при індуктивності індуктивного шунта $L_{\text{ш}} = 4$ мГн, $I_{\text{поч}} = I_{\text{ном}}$ і різних значеннях тривалості зняття $t_{\text{зн}}$ напруги в режимі ПЗ-1: крива 1 – $t_{\text{зн}} = 0,5$ с ; 2 – 1,0 с ; 3 – 1,5 с.

Дійсно, як відомо, індуктивність обмотки збудження L_3 залежить від величини струму в ній $i_3(t)$ і швидкості його зміни; зі збільшенням цих значень величина L_3 зменшується, а отже змінюється і стала часу цієї вітки. Тому, щоб β був незмінним і тим самим забезпечувалось

струморозподілення $i_{ш}(t)$ та $i_3(t)$ таке ж, як і в усталеному режимі, треба, щоб і $L_{ш}$ (а отже, і стала часу шунтувальної вітки) також змінювалась зі зміною струму $i_{ш}$. Це можливо лише при застосуванні індуктивних шунтів з великим повітряним проміжком і малим насиченням. Однак, на жаль, індуктивний шунт, що забезпечує однаковий струморозподіл $i_{ш}(t)$ та $i_3(t)$ в усталеному і перехідному режимах, має такі великі геометричні розміри і масу, що його застосування не доцільно.

Виходячи з наведених міркувань, цікаво отримати залежності відношення індуктивності $L_{ш}$ до індуктивності L_3 протягом перехідного процесу відновлення напруги. Для цього із (2) маємо:

$$\frac{L_{ш}}{L_3} = \frac{\beta}{1 - \beta}. \quad (4)$$

Підставивши в цей вираз значення β із рис.2, отримаємо залежності $\frac{L_{ш}}{L_3}(t)$, які наведено на рис.4 для різних ПЗ та $t_{3н}$.

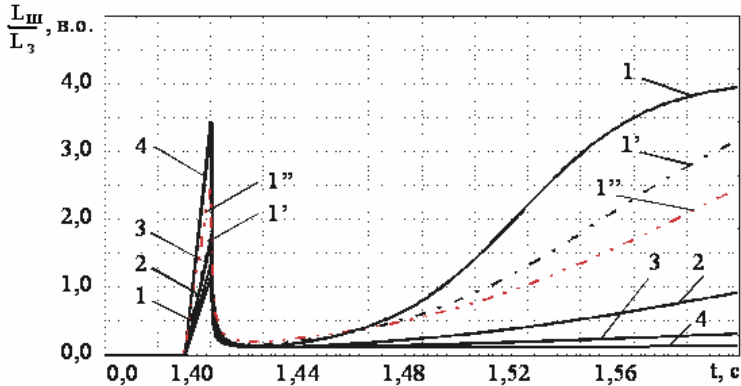


Рис.4 – Залежності відношення індуктивностей індуктивного шунта $L_{ш}$ та обмотки збудження L_3 від часу перехідного процесу у стадії відновлення $U_{ном} = 3000$ В, при $t_{3н} = 1,4$ с, $I_{поч} = I_{ном}$, різних значеннях $L_{ш}$ та різних ступенях послаблення збудження (ПЗ): крива 1 – ПЗ-1, $L_{ш} = 4$ мГн; 1' – ПЗ-1, $L_{ш} = 6$ мГн; 1'' – ПЗ-1, $L_{ш} = 8$ мГн; 2 – ПЗ-2, $L_{ш} = 4$ мГн; 3 – ПЗ-3, $L_{ш} = 4$ мГн; 4 – ПЗ-4, $L_{ш} = 4$ мГн.

Форми кривих на рис.4 можна пояснити різним характером зміни індуктивностей $L_{ш}$ та L_3 під час перехідного режиму, що пов'язано як з нелінійністю індуктивності L_3 , так і з різним конструктивним виконанням магнітопроводів головних полюсів і шунта. В початкові моменти часу відновлення напруги в режимі ПЗ струм $i_я$, головним чином, протікає по обмотці збудження (тобто має місце i_3), оскільки в ці моменти часу величина самоіндукції головних полюсів різко змінюється внаслідок демпферуючої дії вихрових струмів в масивних частинах магнітопроводу [3]. В наступні моменти часу перехідного процесу величина L_3 починає збільшуватись за рахунок зменшення швидкості зростання $i_3(t)$ і струм протікає в основному по шунтувальній вітці, а в кінці перехідного процесу $i_я$ розподіляється по паралельним віткам на i_3 та $i_{ш}$ обернено пропорційно опорам віток. Індуктивність шунта з шихтованим магнітопроводом і великим повітряним проміжком змінюється помітно лише при великих струмах навантаження. Змінний характер $\frac{L_{ш}}{L_3}(t)$ (рис.3) може зумовлювати погіршення комутації аж до появи колового вогню на колекторі тягового двигуна.

Таким чином, коефіцієнт послаблення збудження в перехідних режимах, зокрема після відновлення напруги, змінюється і тому має часову залежність $\beta(t)$, що носить екстремальний характер: незалежно від ступеня послаблення збудження через 0,025...0,03 с після відновлення напруги спостерігається мінімальне значення β , яке дорівнює 0,1 при $L_{ш} = 4 \cdot 10^{-3}$ Гн. Змінний в часі характер β зобов'язує враховувати його (а не $\beta = const$) при розрахунках перехідних електромагнітних процесів у силових тягових колах електрорухомого складу.

1.Браташ В.А., Васковец С.Н., Гилевич О.И. и др. Испытание электроприводов электровозов ДЭ1 // 3б. наук. праць ДНУЗТ. – Дніпропетровськ, 2002. – Вип.11. – С.122-132.

2.Розенфельд В.Е., Исаев И.П., Сидоров Н.Н. Теория электрической тяги. – М.: Транспорт, 1983. – 328 с.

3.Костин Н.А., Мищенко Т.Н., Гилевич О.И. Стохастические переходные электромагнитные процессы в силовых цепях электровозов при резком изменении напряжения на токоприёмнике // Електротехніка і електромеханіка. – 2005. – № 4. – С.73-78.

Отримано 21.04.2011